



「富岳NEXT」の開発・整備に関する第2回記者勉強会
(2025年3月17日)

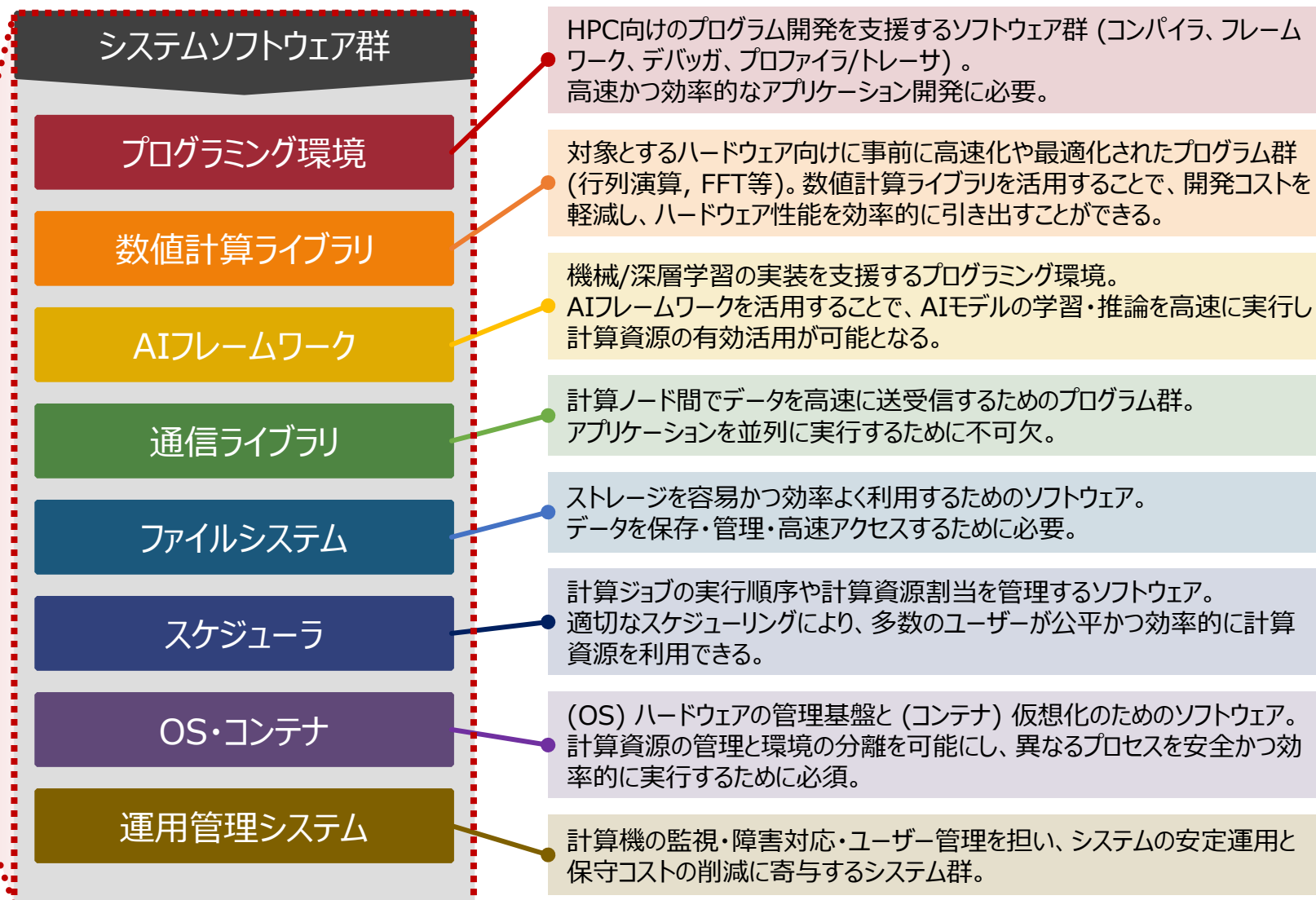
システムソフトウェアの開発概要および 富岳NEXTがもたらす AI for Science

理化学研究所 計算科学研究センター
高性能ビッグデータ研究チーム チームリーダー
佐藤 賢斗

「次世代計算基盤に関する報告書 最終取りまとめ」および、次世代計算基盤に係る調査研究事業 システム研究調査チーム（理研チーム）の調査結果をもとに、開発主体である理化学研究所の考えをまとめた資料になります。本資料は、2025年3月17日時点での記者向けの情報共有を目的としており、今後の検討状況に伴い、一部変更の可能性がございます。

システムソフトウェアの開発概要

- システムソフトウェアとは、計算機ハードウェアの性能を最大限に引き出し、科学技術計算やAIなどのアプリケーション開発を効率化し、計算機の運用を最適化するためのソフトウェア群を指す。



「次世代計算基盤に関する報告書 最終取りまとめ」のシステムソフトウェアに関する記述を抜粋

- システムソフトウェア開発においては、アプリケーションやAI等の研究開発のプラットフォームとして、世界で使われている基本的なアプリケーションがこれまで以上に多様かつ円滑に利用できるように設計し、**運用開始後も継続してシステムソフトウェアの改善**を図るべきである。
- フラッグシップシステム開発の成果を最大化し、わが国の産業競争力の強化や経済安全保障を含む社会的課題の解決に貢献していくためには、**その要素技術（ハードウェアやソフトウェア）が成果としてクラウドを含む世界の情報基盤に採用**されるとともに、開発の成果が社会実装され、広く普及することが重要。
- フラッグシップシステムの整備においては、**システムソフトウェア環境の相互互換性を高めるとともに水平展開**し、また、開発されたアプリケーションが国内外のシステムに簡便に移植できることも、利用者の拡大の観点からは重要。新たに整備されるフラッグシップシステムが、これまで以上に、国内の産学の幅広い研究者による協働や、国際連携に活用されることを期待。

様々なシステムと高い**互換性**を持ち、運用開始後も**継続的に改善**でき、**クラウドを含む国内外の情報基盤**で採用されるシステムソフトウェアが求められている

システムソフトウェアは、継続的な機能拡張やメンテナンスのため、可能な限りオープンソースを採用し、開発したソフトウェアも原則としてオープンソースとして公開することで、改変や拡張を通じて富岳NEXTやコミュニティの発展に貢献。また、商用ソフトウェアを導入する場合も、定期的にアップデートされるものを採用。

システムソフトウェア群

プログラミング環境

数値計算ライブラリ

AIフレームワーク

通信ライブラリ

ファイルシステム

スケジューラ

OS・コンテナ

運用管理システム

● 高い互換性と継続的なソフトウェアの進化

- スーパーコンピュータ「富岳」のシステムソフトウェアの技術と経験をベースに、先進性と利用の継続性を両立させた進化型のシステムソフトウェアを構築
- 「富岳」から「富岳NEXT」へユーザが違和感なくシステムおよびアプリケーションを利用でき、かつ新たな技術の取り込みを可能とするシステムソフトウェアの構築
- 国内外のコミュニティと連携したソフトウェアエコシステムの構築およびOSSの利活用
- 科学シミュレーションのみならず、AI for Science、量子-HPC計算やそれらの融合を可能にする最先端のソフトウェア環境を実現

● クラウドや国内外の計算基盤へ展開

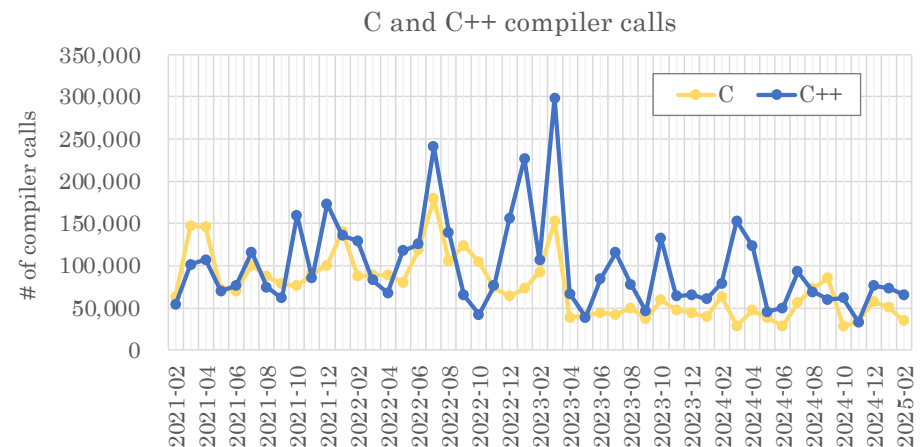
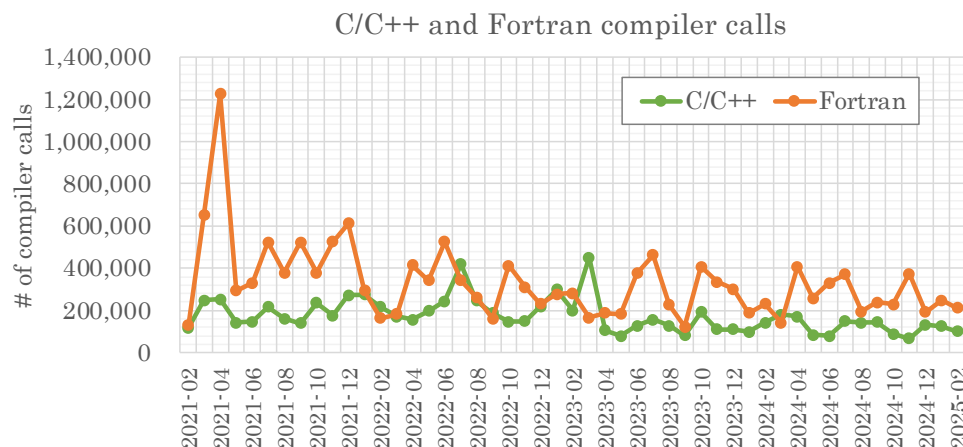
- HPC環境のパッケージ化により標準利用ソフト環境の提供（国内外のコミュニティへの共有）
- バーチャル富岳(クラウドの「富岳」化)の実績を発展させ、クラウド上に次世代フラッグシステムと同等のソフトウェア環境を展開

プログラミング
環境

CPUと加速器の異種混在環境における高性能計算（HPC）を実現するための包括的なプログラミング環境の提供

- 通信ライブラリ (MPI)とリンク可能なFortran、C、C++ の言語処理系を備えるとともに、CUDA、HIP、OpenMP、OpenACC、SYCL、Kokkos等の加速部オフローディング処理を考慮したプログラミング環境を整備
- プログラミング支援環境の充実も重要であり、デバッガやプロファイラ・トレーサを整備し、CPU、加速部、通信ライブラリを含めた性能解析ツールを整備

富岳におけるコンパイラの利用状況

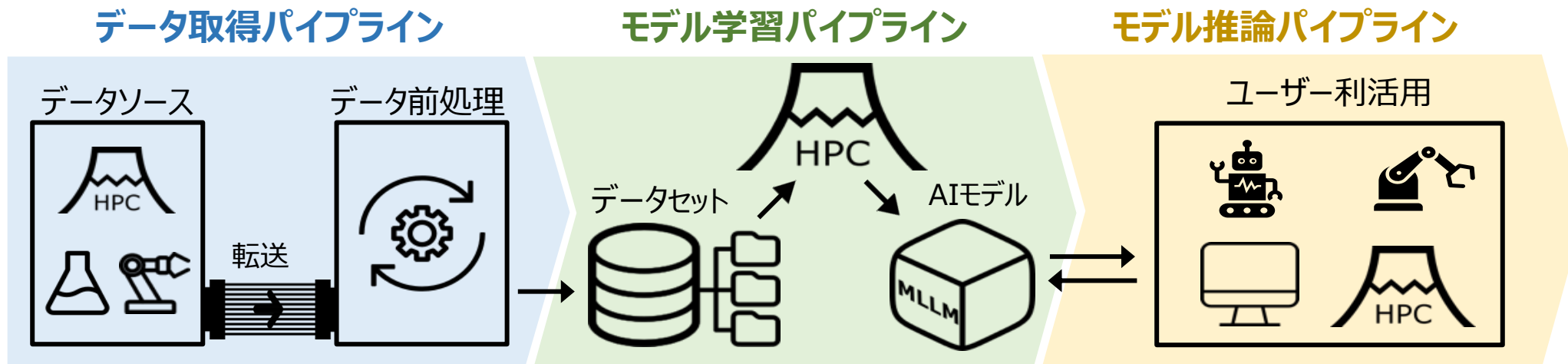


Fortran、C/C++の言語処理系や支援環境のサポートは重要

AIフレームワーク

最先端のAI研究とAI for Scienceを支えるため、最新のAIフレームワークの最適な動作環境を構築することが重要。そのため、主要なAIフレームワークについてCPUおよび加速器に最適化した形で運用できるよう、必要な技術開発を進める

- 「富岳NEXT」によるAI処理の加速
 - (1) データ取得パイプライン： 学習データの高速生成と、蓄積・測定された多様な科学データの高速転送、自動データ変換
 - (2) モデル学習パイプライン： AIモデルの大規模事前学習・追加学習・ファインチューニング
 - (3) モデル推論パイプライン： AIモデルの推論による科学実験・観測の自動化ワークフロー
- AI処理の加速とAIとシミュレーション・科学実験との融合による「AI for Science」の飛躍的な進化
 - シミュレーションプログラムの自動生成と観測・実験の自動化、実験結果の自動データ解析とそれに基づく実験条件の提案
 - AI自身の精度の向上のための自動強化学習・自己修正

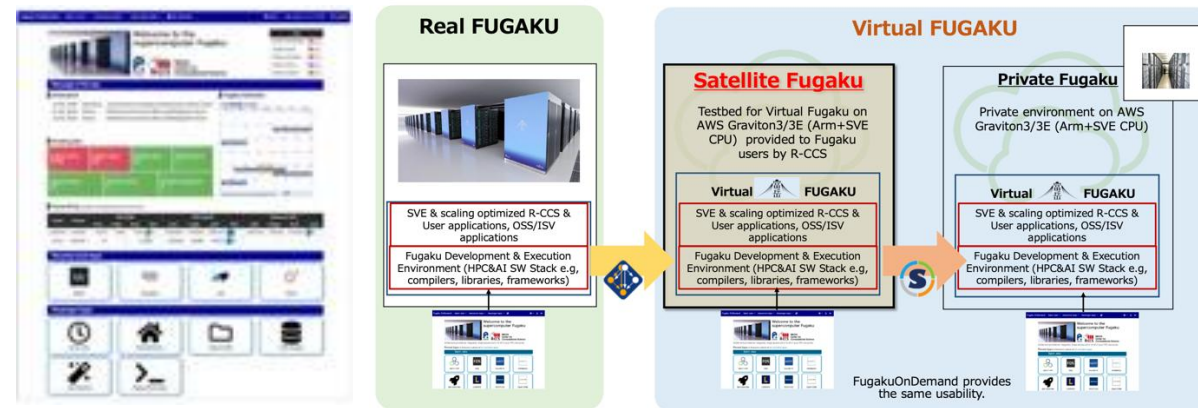


「富岳NEXT」による「AI for Science」の進化
そして自動化による科学研究の“飛躍的”な加速を目指す

運用管理システム

「富岳」と同等規模のワークロードを処理するための運用管理システムを Infrastructure as Code を基本に開発し、またソフトウェアパッケージ管理ツール (Spack)、HPCのクラウド化サービス (Open On Demand)、その他AIを活用しユーザの利便性を向上。

- 富岳における運用ソフトウェア
 - Spackによるソフトウェアパッケージ管理
 - Open OnDemandによる直感的な操作インターフェース
 - Grafana等によるシステムモニタリング・可視化
 - WHEELによるワークフロー型ジョブ実行
 - AskDonaの技術開発 (生成AIを活用した問い合わせ対応システム)
- 今後、各種サービスを生成AIを中心にAI化
 - プログラムの生成・移植・チューニング・デバッグ
 - 各種ユースケースの相談 (a.k.a. Deep Research for HPC)
 - AI for Science 全般のサポート (データ処理パイプラインのAI化)



Fugaku Support Site

質問する 申請する 過去の質問 コミュニティ

もしサポートスタッフによる対応が必要な場合は、入力欄へ「有人対応をお願いしたい」と送信してください。

生成AIアシスタント - AskDona



こんにちは！私はDona。富岳に関する質問へお答えします。**お知らせ記事**で利用上のコツが書かれていますので参考にしてください。
 有人対応チケットフォームをご利用の際は、AskDonaに「チケットを作成したい」または「有人対応をお願いしたい」とメッセージを送信してください。
 回答についての評価を👍ボタンでフィードバックをお願いします。
 それでは一番下の入力欄からご質問をどうぞ。



先端的運用技術の「富岳NEXT」およびクラウドを含む国内外の計算基盤へ展開

「富岳」利用者の利便性向上に資する先端的な運用技術の開発や導入を推進すると共に、それらの成果のHPCIの他センター等への導入に積極的に協力することで、我が国のHPCI及びコミュニティに大きく貢献し、またクラウドを含む国内外の計算基盤へ展開

数値計算ライブラリ	CPUおよび加速部に最適化され性能を最大限活用できるよう、計算処理の効率化や高速化を実現するライブラリの開発
通信ライブラリ	通信効率を最大化するため、標準的な通信ライブラリであるMPIやUCXの導入を進めるとともに、CPU、加速器とインターコネクに最適化されたソフトウェアの開発。
ファイルシステム	膨大な量のデータ処理するための能力を備えた階層化されたストレージ・ファイルシステムを構築し、高速かつ長時間運用において安定したデータアクセス環境を提供することを目指す。
スケジューラ	計算資源を最大限に活用するため、高度なジョブ管理システム（Slurmの最新版に相当する機能）の整備を進め、計算資源の効率的な割り当てを実現し、システム全体の処理能力の向上を目指す。
OS・コンテナ	計算ノードおよびフロントエンドノードのOSとして最新のLinuxディストリビューションを採用し、ソフトウェアが広くサポートされる環境を構築。また、ハイパーバイザやコンテナを活用するためのソフトウェア・ハードウェアの両面からの検討を行い、最適な仮想環境を検討。

富岳NEXTがもたらす AI for Science

● AI for Science とは

- AI技術を科学研究に応用し、基礎科学の革新を推進する分野を指します。従来の科学的手法とAIを組み合わせることで、HPCにおいては、シミュレーションの高速化、データ解析の高度化、新しい物質や理論の発見など、さまざまな領域でのブレークスルーが期待されています。
- 広く社会において多数のユーザが同じ基盤モデルを活用する商業用のAIと異なり、科学向けの基盤モデル（科学基盤モデル）は、各科学分野の専門的な学習データに基づいてカスタム化して利用される。

● 理研 TRIP-AGISによる AI for Science の実用化 [1]

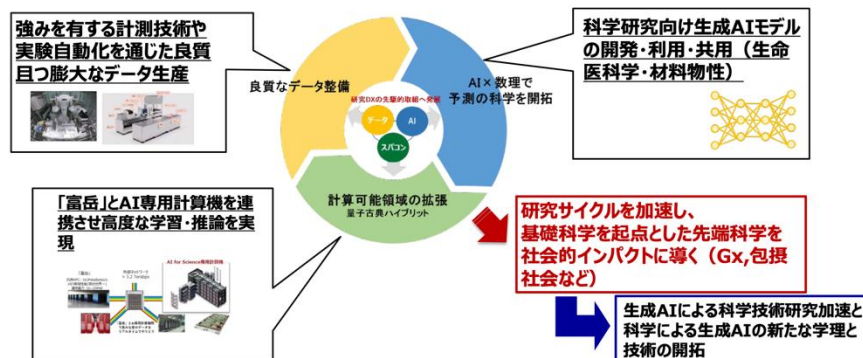
- 大規模言語モデルなどの汎用的な基盤モデルを活用しつつ、科学研究データを系統的に学習させ各分野における科学基盤モデルを開発
- 科学基盤モデルを活用し、実験自動化技術・シミュレーション技術と組み合わせることで、科学研究の自動化を推進
- 開発した科学基盤モデルとその利用技術を産学に広く開放することで、多様な分野における科学研究の革新（科学研究サイクルの飛躍的加速、科学研究の探索空間の拡大）を目指します。

科学研究基盤モデル開発プログラム TRIP-AGIS



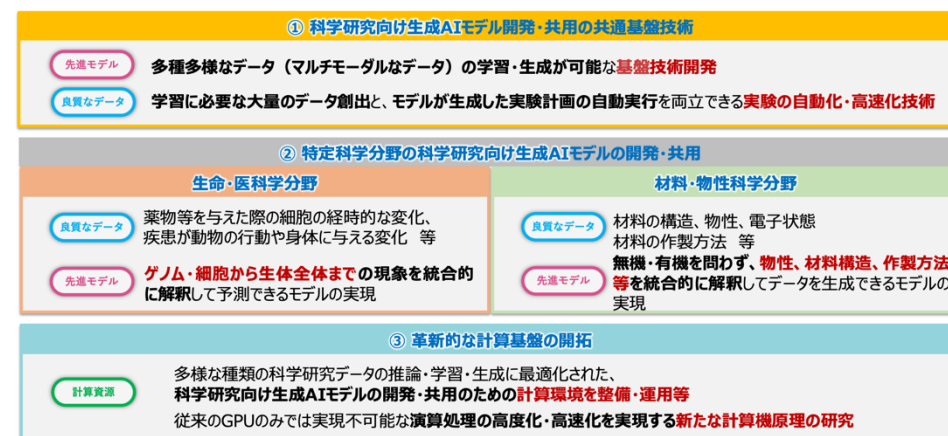
Advanced General Intelligence for Science Program (AGIS)

- ✓TRIP Second Stepとして、生成AIの技術も導入し、科学研究向け生成AIモデルを開発することで、より一層の研究サイクルの加速を実現
- ✓先端科学を社会インパクトへ導く活動を強化



11

TRIP-AGISの全体像



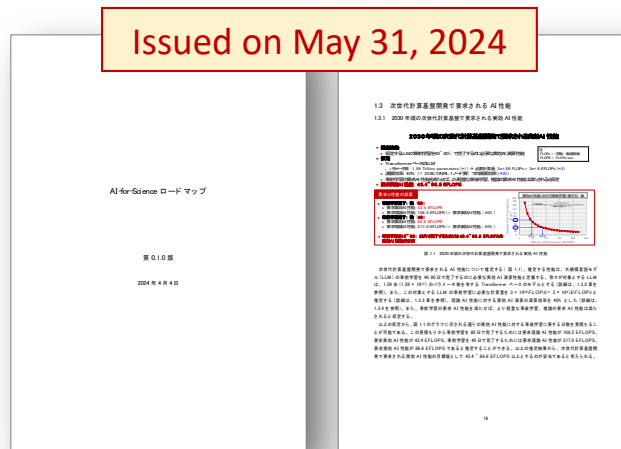
14

[1] 資料：泰地 真弘人, 基調講演「TRIP-AGIS: 理研のAI for Scienceプロジェクト」LLMシンポジウム2024「大規模言語モデルのあるべき姿とは？」

(https://llmc.nii.ac.jp/events/llmsymposium20240925_report/)

● 計算科学ロードマップ

- 基盤技術としてのスーパーコンピュータが重要性を増す中で、2011 年、HPCI 計画の推進にあたり国として今後の HPC 研究開発に必要な事項等を検討するため、文部科学省研究振興局長の諮問会議「HPCI 計画推進委員会」のもとに「今後の HPC 技術の研究開発のあり方を検討する WG」(2011-2012) が設置
- その後、「将来のHPCIシステムのあり方の調査研究「アプリケーション分野」」(2013-2014)、「今後のHPCIを使った計算科学発展のための検討会」(2015/01-2017/06)、「HPCIC計算科学フォーラム」(2017/07-)の活動を通じて、継続的な計算科学ロードマップの更新・公開
 - 2012/03「計算科学ロードマップ白書2012」→ 2014/03「計算科学ロードマップ2014」→ 2017/06「計算科学ロードマップ2017」→ 2023/12「計算科学ロードマップ2023」(第0版)
- **計算科学ロードマップ2023 (第1版) において AI for Science ロードマップを追加**
 - 計算科学ロードマップ2023 (第1版): <https://cs-forum.github.io/> (公開日: 2024年5月31日) [2]
 - 第0版の全11分野に加え、同11分野の横串として AI for Science に関するロードマップを追加



各科学分野における AI for Science ロードマップのまとめ

1. ナノサイエンス・デバイス

- 材料研究におけるAI活用:機械学習ポテンシャル分子動力学
- データ科学と分光実験の融合による材料解析フローの構築
- 量子コンピュータを用いた機械学習モデル構築と物性計算への展開
- 新材料開発におけるAI活用
- データ駆動型アプローチによる強相関量子物質の解析
- 量子多体問題の数値解法とその活用
- 実験データの統合解析
- 非晶物質ダイナミクスへのAI活用-GNNから生成モデリングへ

2. エネルギー・資源

- シミュレーションとインフォマティクスによる材料設計と材料探索
- 機械学習ポテンシャルを用いた分子系の高精度分子動力学シミュレーション
- 人工ニューラルネットワークによる量子多体系の記述
- ハイパフォーマンス・コンピューティングと人工知能が加速する量子化学

3. 素粒子・原子核

- 核子多体系の構造・反応計算
- 人工ニューラルネットワークを用いた量子多体問題の解析

4. 生命科学

- 機械学習に基づく生体分子の立体構造解析
- 機械学習を用いた生体分子の反応座標探索
- 「世界モデル」を組み込んだ強化学習による医学・生物学研究の遂行
- フラグメント分子軌道計算とAI/データ科学
- 差分シミュレーションを用いた分子動力学力場の最適化
- AIを用いた粗視化分子動力学(CGMD)の力場開発
- 機械学習ポテンシャルの発展と展望
- 生体高分子ダイナミクスを記述するための次元削減
- VAEを拡張したタンパク質ダイナミクスの表現学習

5. 創薬・医療

- 医療における言語モデルとマルチモーダル基盤モデル
- タンパク言語モデルの現状と課題
- ゲノム配列を扱う大規模言語モデル
- 遺伝子発現データのための基盤モデル
- 生成モデルによる分子設計
- 化合物-タンパク相互作用予測
- タンパク質立体構造予測
- 医療におけるAIの説明可能性と介入シミュレーション

6. 設計・製造

- CNN-AEによる流れの特徴抽出とその応用
- 3D 生成 AI の構造最適設計への応用

7. 社会科学（2024年度以降に執筆予定）

8. 脳科学・人工知能

- 神経科学とAI技法 そして大規模詳細神経回路シミュレーション

9. 地震・津波

- 地震学の逆問題における PINN の活用事例と大規模問題への適用可能性
- データサイエンス的手法による大規模シミュレーションの高速化

10. 気象・気候

- サロゲートモデルリング：雲微物理過程へのAIの適用、重力波パラメタリゼーション、Navier-Stokes乱流に対するRC学習
- 気象への応用：全球数値気象モデル (GCM) エミュレーション、AI データ同化融合・降水ナウキャスト、リザーバー計算・気象予測への応用
- データセット・モデル共有・相互比較・分析のためのプラットフォーム

11. 宇宙・天文

- 深層学習による高エネルギー天体现象の研究
- 天文ビッグデータからの宇宙論的情報の抽出

【エネルギー・資源】AIによる量子化学ソフトウェア開発および実験の加速（例 1）

研究背景: 量子化学による新材料の発見

量子化学計算によって得られたビッグデータを分析することによって、より高性能・高機能な新しい分子や材料の発見に役立つ。

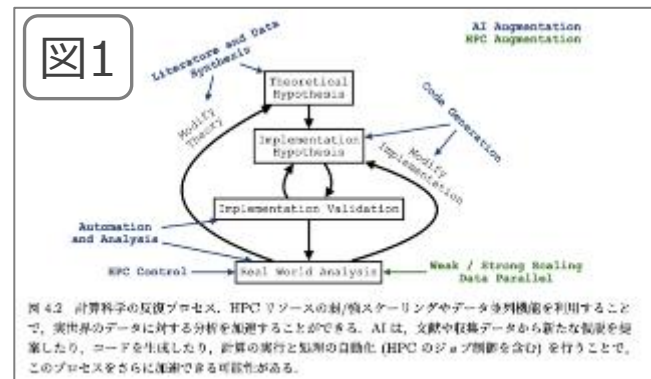
AI4S ロードマップ: AIによる開発・実験の加速（図1）

基盤モデルと計算科学: 新しい量子化学方法論の開発や新材料の設計・探索に基盤モデルを統合し、作業を加速。

AIの活用: 既存の文献やデータに基づき、量子化の理論やコードの革新的な最良案を提案し、開発時間を短縮。

インタラクティブな開発プロセス: AIを使用して計算実験を実行し、量子化学データ抽出を行うインタラクティブなプロセスの構築。

量子化学計算においてAIを活用することで新材料の発見を加速



【設計・製造】3D形状生成AIの構造最適設計への応用（例 2）

研究背景: 構造の形状や寸法、材料の最適化

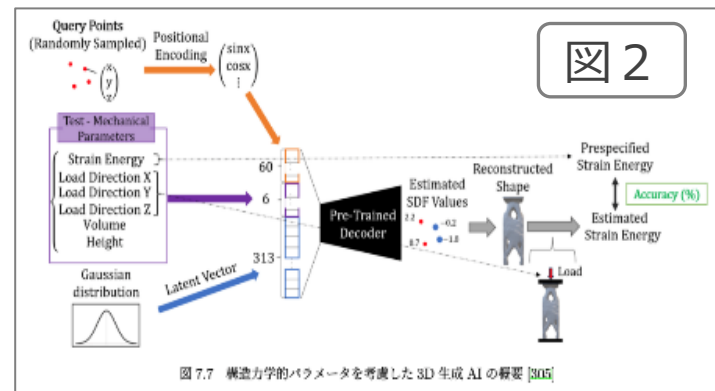
航空宇宙、自動車、建築、機械などのさまざまな工学分野に応用可能。2022年以降に急速に発展している 3D生成AIを用いたデータ駆動のアプローチが期待されている。

AI4S ロードマップ: 3D形状生成AI による構造最適化技術の確立

より複雑な3D形状データセットの作成: 数百万要素から数億要素メッシュの解析が必要。

大規模言語モデルと3D形状生成AIの統合: 構造に対する要件を言語入力とする大規模言語モデルを用いた3D形状パラメータ制御（図2）と、生成された3D形状の自然言語理解の研究が必要。

大規模言語モデルと3D形状生成AIによる構造最適設計の「民主化」



【設計・製造】AIによる流れの特徴抽出とそのものづくりへの応用（例 3）

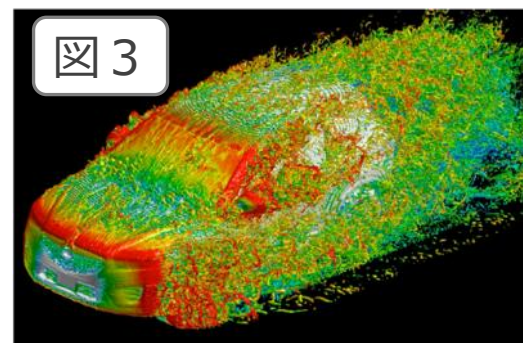
研究背景: モード分解による流れ場の特徴抽出

流れの制御技術は、流動抵抗や騒音の低減、熱伝達や混合の促進を通じて、あらゆるものづくり産業の省エネルギー化・低環境負荷化を実現。

AI4S ロードマップ: 自動車形状周辺の高レイノルズ数の乱流の再現（図3）

設計・製造の現場で行われる自動車形状周辺の高レイノルズ数の乱流シミュレーションの再現に適用する場合、並列計算機上での大規模分散学習が必要なため、より実効AI性能が高い計算機が必要となる。

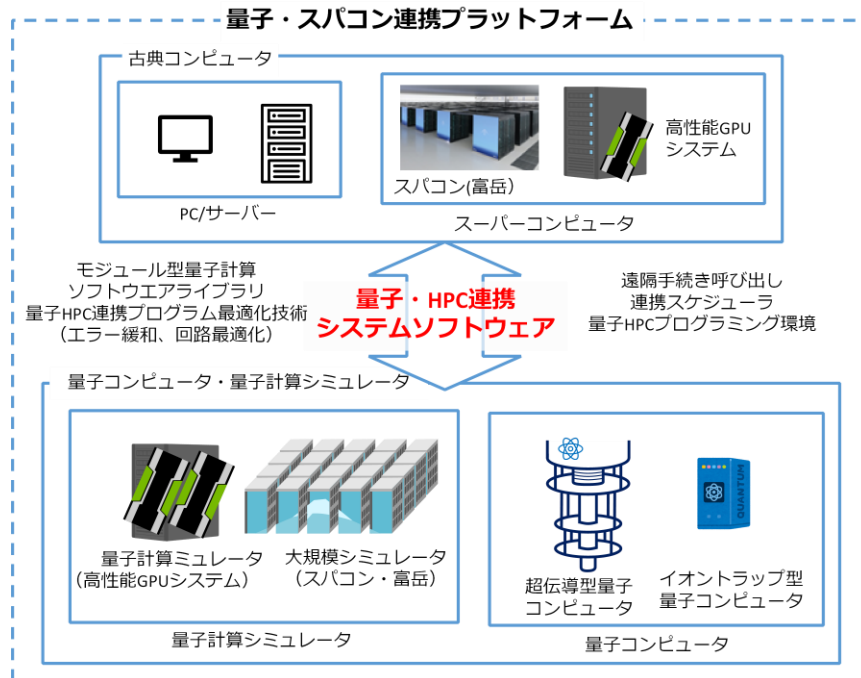
高い実効AI性能により詳細なシミュレーションが可能となりものづくり産業において高省エネルギー化を実現



次世代計算基盤に関連する理研を中心としたプロジェクト

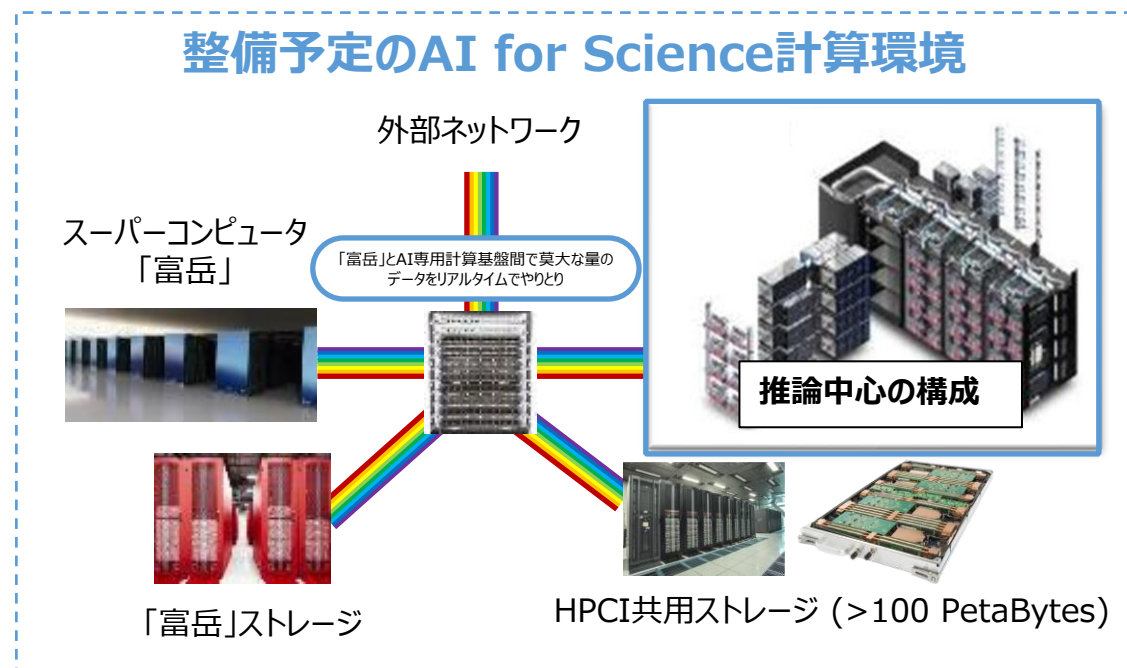
● 量子-HPC連携プラットフォームの構築

- 計算可能領域の拡張を目指すTRIP構想の一環として、計算科学研究センターを中心に、量子コンピュータと「富岳」等HPCを連携させる汎用的なソフトウェアを開発し、「量子-HPC連携プラットフォーム」の構築する。2023年度に外部資金を得て研究開発を加速。



● TRIP-AGIS: 科学研究向け基盤モデルの開発／共用

- 多様な分野の**科学研究の革新**を目指し、科学研究データの追加学習（マルチモーダル化）によりドメイン指向の科学研究向け基盤モデルを開発するプロジェクト。計算科学研究センターは、計算環境の整備・運用、ハードウェア・ソフトウェア開発を主導し「**革新的な計算基盤の開拓**」を推進。



これらの取り組みも発展させつつ富岳NEXTの開発／整備へ

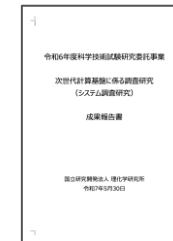
「富岳NEXT」の試験運用段階から成果が創出されるためには、「富岳」の教訓を取り入れ、さらにHPCI「計算科学ロードマップ」、
「AI for Science ロードマップ」、FS調査研究プロジェクトの結果を踏まえ、アプリケーション・コミュニティとのコデザインによるシステム設計を推進することが必要。

● **次世代計算基盤を利用した成果の最大化に向けた提言（一部加筆・修正）**

- アプリ性能向上するために満たすべき要件を整理（アルゴリズムの体系化・カタログ化）
- 要件を踏まえ、試験運用段階から性能を十分に引き出すために必要なシステムソフトウェア、アプリ移植・高度化技術、支援の整備
- 継続支援・整備のためのコンパイラやライブラリ等の選択・設計・開発、業界のデファクトスタンダードなOSSや長期的な開発・支援が見込まれる商用アプリケーションの利用環境構築



計算科学およびAI for Science ロードマップ
<https://hpcic-kkf.com/>



FS調査研究報告書
<https://www.mext.go.jp>

● **アプリ開発：アプリ・コミュニティの構築**

- 実行アルゴリズムの体系化・カタログ化
- 高度化のためのベンチマークの開発
- システム設計・開発へのフィードバック

コデザイン

● **アプリ開発支援：AI・自動化技術を活用した先進的なアプリ移植・高度化・支援**

- 移植支援：CI/CD/CB技術へ取り入れた移植・性能評価の自動化
- 高度化支援：AIによるプログラム生成・自動チューニング
- 全般的支援：AIチャットボットによる全般的なアプリ開発・実行支援

一部は既に「富岳」で運用開始 → これらの技術をテストベットにおいて継承し、「富岳NEXT」に向けた継続的な高度化を推進

「富岳」

先進的なアプリ開発支援の
先行実施

富岳で運用中のアプリ開発支援をテストベットにおいて継承

テストベット for 「富岳NEXT」
(AI for Science/量子HPC 計算基盤)

アプリ開発技術の継承と継続的な高度化

「富岳NEXT」

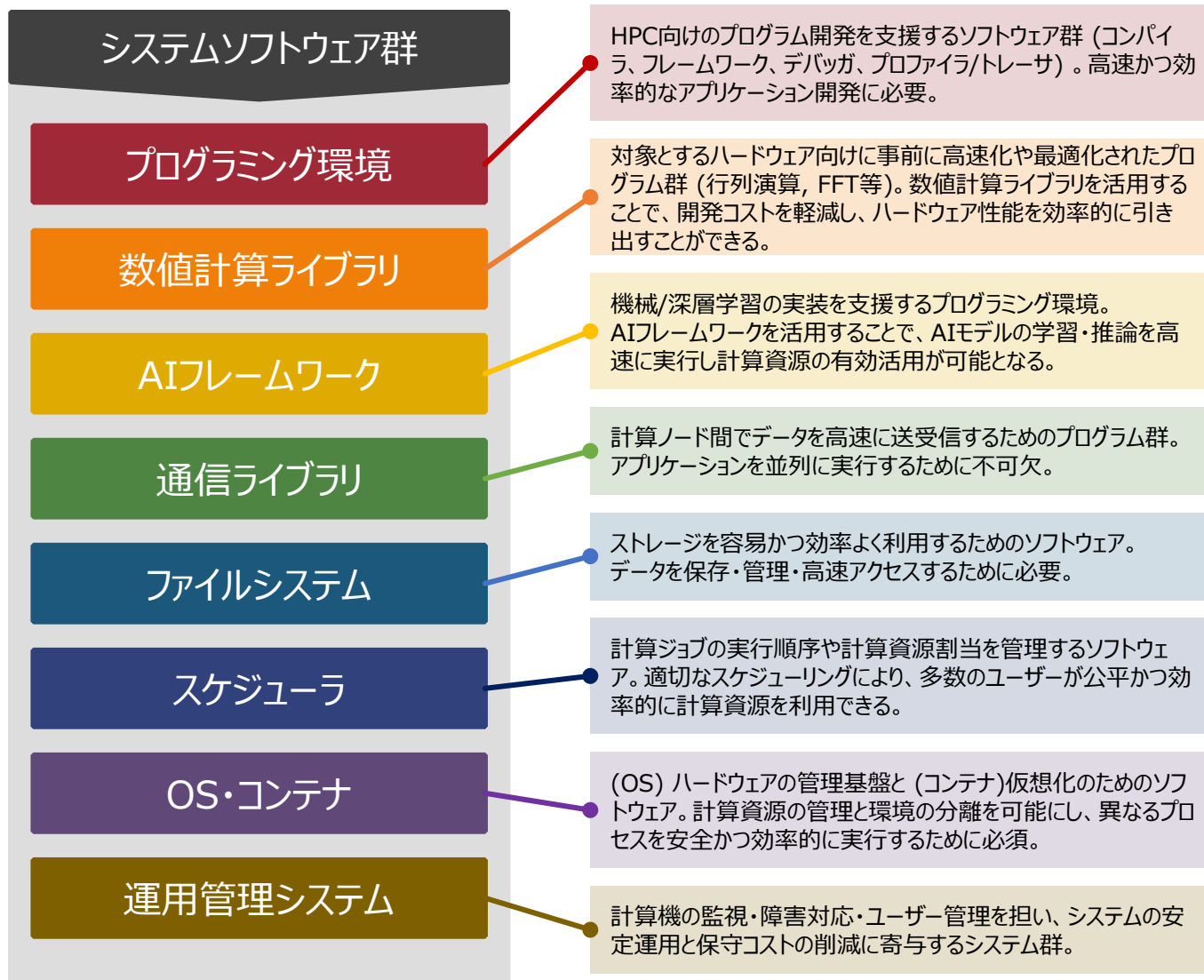
…「富岳」運用後も継続的に課題を洗い出し後継機システムで改善

「富岳NEXT」に向けた継続的な高度化

AI・自動化技術を活用した先進的なアプリ移植・高度化・支援

さらにHPCIの他センターやクラウドを含む国内外の計算基盤へ展開

システムソフトウェアは、継続的な機能拡張やメンテナンスのため、可能な限りオープンソースを採用し、開発したソフトウェアも原則としてオープンソースとして公開することで、改変や拡張を通じて富岳NEXTやコミュニティの発展に貢献。また、商用ソフトウェアを導入する場合も、定期的にアップデートされるものを採用。



● 高い互換性と継続的なソフトウェアの進化

- スーパーコンピュータ「富岳」のシステムソフトウェアの技術と経験をベースに、先進性と利用の継続性を両立させた進化型のシステムソフトウェアを構築
- 「富岳」から「富岳NEXT」へユーザーが違和感なくシステムおよびアプリケーションを利用でき、かつ新たな技術の取り込みを可能とするシステムソフトウェアの構築
- 国内外のコミュニティと連携したソフトウェアエコシステムの構築およびOSSの利活用
- 科学シミュレーションのみならず、AI for Science、量子-HPC計算やそれらの融合を可能にする最先端のソフトウェア環境を実現

● クラウドや国内外の計算基盤へ展開

- HPC環境のパッケージ化により標準利用ソフト環境の提供（国内外のコミュニティへの共有）
- バーチャル富岳(クラウドの「富岳」化)の実績を発展させ、クラウド上に次世代フラッグシステムと同等のソフトウェア環境を展開

1. **行列演算**: 数値を行と列に並べた「行列」に対する計算。加減算や乗算、逆行列の計算などが含まれ、AIや物理シミュレーション、画像処理などで広く利用される。
2. **FFT（高速フーリエ変換）**: 信号や画像データを周波数成分に分解する数学的手法。音声認識や通信技術、画像解析などに活用され、データの特徴を効率的に抽出できる。
3. **コンテナ**: アプリケーションとその動作環境を一括で管理し、異なるシステム間での移植性を向上させる技術。開発の効率化やクラウド環境での運用に役立つ。
4. **OSS（オープンソースソフトウェア）**: ソースコードが公開され、誰でも無料で利用・改良できるソフトウェア。
5. **MPI（Message Passing Interface）**: スーパーコンピュータやクラスタ環境で、複数の計算機が並列に動作するための通信ライブラリ。大規模な科学技術計算で欠かせない。
6. **Fortran**: 数値計算向けのプログラミング言語。科学技術計算やシミュレーション分野で長年使用され、現在も高性能計算で重要な役割を果たしている。
7. **C/C++**: システム開発や高性能計算向けのプログラミング言語。OSや組み込みシステム、AI、シミュレーションなど、幅広い分野で利用されている。
8. **CUDA**: NVIDIA製GPU向けの並列計算プラットフォーム。AI、シミュレーション、画像処理などでGPUの性能を最大限に活用するために用いられる。
9. **HIP（Heterogeneous-compute Interface for Portability）**: AMD製GPU向けの並列計算プラットフォーム。CUDAと互換性があり、異なるGPU環境で同じコードを動作させることが可能。
10. **OpenMP**: CPU/GPUの並列計算を効率的に記述できるプログラミング拡張機能。マルチコアプロセッシング/GPUオフローディングを活用し、科学技術計算やシミュレーションの高速化に貢献する。
11. **OpenACC**: GPUやその他のアクセラレータを利用した並列処理を簡単に記述できるプログラム技術。科学技術計算の高速化に適している。
12. **SYCL**: CPUやGPUなど異なるハードウェアで統一的に並列計算を扱えるC++ベースのプログラミングモデル。
13. **Kokkos**: C++向けの大規模並列計算ライブラリ。異なる計算環境への適応が可能で、スーパーコンピュータなどでの高性能計算に活用される。
14. **デバッガ**: プログラムの不具合を特定・修正するツール。変数の値や処理の流れを確認し、バグの原因を特定するために使用される。
15. **プロファイラ・トレーサ**: プログラムの実行状況を分析し、計算のボトルネックやリソースの使用状況を解析するためのツール。性能最適化に活用される。
16. **UCX（Unified Communication X）**: 高性能計算向けの通信ライブラリ。MPIや分散システムと連携し、大規模な並列計算におけるデータ通信の最適化を実現する。
17. **Slurm**: スーパーコンピュータやクラスタ環境で計算資源を管理し、ジョブの実行を制御するシステム。大規模計算環境で広く採用されている。
18. **ハイパーバイザ**: 仮想化技術を用いて、1台の物理サーバー上で複数のOSを同時に動作させるシステム。クラウド環境や仮想マシンで広く使用される。
19. **Infrastructure as Code（IaC）**: サーバーやネットワークの設定をコードとして管理し、システムの構築や運用を自動化する手法。クラウド環境での運用効率向上に貢献する。
20. **Spack**: 科学技術計算向けのソフトウェア管理ツール。依存関係を考慮した環境構築を簡略化し、スーパーコンピュータやHPC環境で利用される。
21. **Open OnDemand**: ウェブブラウザ経由でスーパーコンピュータを利用できるシステム。ユーザーが計算資源を容易に管理し、ジョブの実行やファイル操作を行える。
22. **事前学習**: AIが大量のデータを用いて基本的な特徴を学ぶ段階。大規模データで汎用的な知識を獲得し、特定タスクの精度向上のための基礎を学習する。
23. **追加学習**: 学習済みのAIモデルに新たなデータを追加し、再学習させる手法。新しい環境や変化に適応し、モデルの継続的な改善を可能にする。
24. **ファインチューニング**: 事前学習済みのAIモデルを特定タスク向けに最適化する技術。少量のデータで高精度なAIを構築できるため、応用範囲が広い。